

## **ВІДГУК**

опонента

професора кафедри комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки

Національного аерокосмічного університету

ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

доктора технічних наук, професора Фесенка Германа Вікторовича

на дисертаційну роботу Яловеги Владислава Анатолійовича

«Методи обробки мультиспектральних зображень в комп'ютеризованій системі на

основі нейронних мереж глибокого навчання»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 123 – Комп'ютерна інженерія

### **Актуальність теми**

Дистанційне зондування земної поверхні дозволяє отримувати актуальну інформацію про стан та характеристики земних об'єктів безконтактно. Сучасні аерокосмічні та супутникові системи дозволяють отримувати зображення з високою роздільною здатністю, а період повторного спостереження за визначеною географічною місцевістю зменшується. Це дозволяє розробляти нові та удосконалювати існуючі методи обробки мультиспектральних зображень, підвищуючи якість оперативної інформації про об'єкти на земній поверхні. Методи обробки мультиспектральних зображень використовуються для аналізу змін навколишнього середовища, клімату, спостереження за поновлювальними ресурсами, у сільському господарстві. Саме тому дисертаційна робота Яловеги Владислава Анатолійовича, що пропонує методи багатокласової класифікації мультиспектральних зображень є актуальною, а особливо під час повномасштабного російського вторгнення, де необхідно отримувати оперативну інформацію про стан та зміну об'єктів на земній поверхні.

Тема дисертаційного дослідження пов'язана з виконанням науково-дослідних робіт кафедри «КІП» НТУ «ХПІ», а саме з науково-дослідною роботою ДР №0122U200526 «Моделі і методи обробки та захисту інформації в комп'ютерних системах», де здобувач брав участь у якості виконавця.



## **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі**

Розроблені та удосконалені методи, положення та висновки, що наведені в роботі Яловеги Владислава Анатолійовича, базуються на використанні технологій глибокого навчання, теорії нейронних мереж, методів математичного моделювання, трансферного навчання глибоких нейронних мереж, статистичних методів та алгоритмічних підходів. Дослідження виконані з використанням сучасних комп'ютерних систем, хмарних рішень (Google Colaboratory), що є засобами розробки штучного інтелекту. Результати перевірені шляхом проведення практичних експериментів, що підтверджує обґрунтованість наукових гіпотез, висновків, сформульованих в дисертаційній роботі.

### **Достовірність результатів досліджень**

Достовірність результатів теоретичних досліджень підтверджується результатами відповідних експериментальних досліджень.

Запропоновані та удосконалені методи реалізовані у вигляді програмних компонентів та застосовані під час використання програмного забезпечення. Наукові результати мають акти впровадження, що дозволяє підтвердити їх достовірність.

### **До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести:**

- вперше запропоновано метод багатокласової класифікації мультиспектральних супутникових зображень земного покриву, який відрізняється від відомих процедурою пошуку оптимального набору спектральних індексів на основі вперше запропонованої архітектури згорткової нейронної мережі в комп'ютеризованій системі, що дозволило підвищити точність класифікації об'єктів земної поверхні;
- отримав подальший розвиток метод оптимізації згорткових нейронних мереж для задачі багатокласової класифікації супутникових зображень земного покриву за рахунок запропонованої процедури проведення оптимізації етапами структурного та параметричного налаштування при заданих бюджетних



обмеженнях, що з одного боку дозволило підвищити результуючі метрики оцінки якості класифікації супутникових зображень згортковою нейронною мережею, а з іншого – врахувати наявні ресурсні обмеження;

– удосконалено метод багатокласової класифікації мультиспектральних супутникових зображень земного покриву високої розрізняювальної здатності, який відрізняється від відомих трансферним навчанням згорткових нейронних мереж на основі запропонованого набору даних EuroPlanet високої роздільної здатності та пошуком оптимальної конфігурації спектральних індексів, що дозволило підвищити точність класифікації даних дистанційного зондування земної поверхні та ефективність роботи моделі нейронної мережі й на території України.

### **Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання**

Представлені в дисертаційному дослідженні Яловеги Владислава Анатолійовича методи мають такі практичні результати:

1. У роботі розроблено метод та програмне забезпечення для запропонованої архітектури згорткової нейронної мережі для задачі багатокласової класифікації мультиспектральних супутникових зображень. Отримано оптимальний набір спектральних індексів (NDVI, NDWI, GNDVI разом із каналами RGB) у наборі даних EuroSAT.

2. Розроблено програмне забезпечення для удосконаленого методу оптимізації згорткових нейронних мереж з використанням сучасних засобів розробки штучного інтелекту. Оптимізована згорткова нейронна мережа навчається за меншу кількість епох, досягаючи достатніх результаючих значень метрик оцінок (точність класифікації зросла до 97.04%, а метрика F1 до 97.05%).

3. Сформовано новий набір даних високої роздільної здатності на основі запропонованої процедури фільтрації високоякісних зображень у комп'ютеризованій системі.

4. Показана можливість застосування удосконаленого метода (точність класифікації на тестових даних склала 93,83%, а метрика F1 – 93,56%.) на багатокласової класифікації зображень земного покриву набору даних EuroPlanet високої роздільної здатності на території України, що є корисним для систем



моніторингу.

Результати досліджень впроваджені в компанії ТОВ «АМК СИСТЕМА», у навчальний процес кафедри «КІП» Національного технічного університету «ХПІ» та в ДП «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості».

### **Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях**

Результати досліджень опубліковані у 24 наукових працях, серед яких: 3 статті у періодичних наукових фахових виданнях, що індексуються наукометричною базою даних Scopus, 4 статті в наукових фахових виданнях виданні України категорії «Б». Зазначені публікації відповідають тематиці дисертації. Участь здобувача у працях, що опубліковані у співавторстві зазначена в дисертаційній роботі.

Опубліковані матеріали відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

### **Оцінка змісту дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота Яловеги Владислава Анатолійовича складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У вступній частині обґрунтовано актуальність теми, зазначено мету, наукову та практичну значимість, задачі дослідження, сформульовано об'єкт та предмет дослідження, наведено апробацію дисертаційної роботи та список публікацій.

В першому розділі виконано аналіз науково-технічної проблеми обробки мультиспектральних зображень у комп'ютерних системах, проаналізовано існуючі методи отримання, обробки та аналізу даних ДЗЗ, розглянуто сучасні наукові праці та досягнення в сфері штучного інтелекту та глибоких нейронних мереж, наведено порівняння класичних методів машинного навчання з методами на основі глибокого навчання.



У другому розділі представлено розробку методу багатокласової класифікації мультиспектральних зображень земного покриву на основі згорткової нейронної мережі та спектральних індексів на основі запропонованої архітектури згорткової нейронної мережі. Представлено формальний опис задачі багатокласової класифікації. Проведено дослідження спектральних індексів, що подавалися у якості додаткових каналів (окрім RGB) до нейронної мережі.

В третьому розділі проведено дослідження сучасних методів оптимізації глибоких нейронних мереж, проведено їх порівняння. Розроблено метод оптимізації згорткової нейронної мережі застосованої до задачі багатокласової класифікації мультиспектральних зображень. Наприкінці розділу наводиться порівняння удосконаленого методу з існуючими.

У четвертому розділі обґрунтовується необхідність формування нового набору даних EuroPlanet, що формується на основі геометрій EuroSAT. Проводиться порівняльний аналіз сформованого набору даних із відомими. Розглядається трансферне навчання, проводиться валідація набору даних EuroPlanet. Удосконалено метод багатокласової класифікації зображень високої роздільної здатності на основі донавчання наперед навчених згорткових нейронних мереж. Проведена оцінка та зазначено практичне застосування удосконаленого методу багатокласової класифікації мультиспектральних зображень на території України

Висновки до розділів та результати дисертаційного дослідження відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел містить 184 найменування, які рівномірно розподілені між розділами.

Анотація відображає основний зміст дисертації та достатньо розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

У додатках представлено публікації, фрагменти програмних компонентів та акти впровадження.

### **Академічна доброчесність**

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях не виявлено. Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і



містяться в опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

### **Зауваження по дисертаційній роботі:**

1. В другому розділі, в частині розробки методу багатокласової класифікації мультиспектральних зображень відсутнє обґрунтування виробу алгоритму навчання для згорткової нейронної мережі. Крім того, виходячи з тексту дисертації не зрозуміло, чи було виконано аналіз інших алгоритмів навчання.

2. У третьому розділі необхідно було б краще формалізувати наявні апаратні та ресурсні обмеження, з яких можна отримати значення загального обчислювального бюджету.

3. У третьому розділі доцільніше було б провести узагальнене порівняння початкової та оптимізованої згорткової нейронної мережі для задачі багатокласової класифікації мультиспектральних супутникових зображень, можливо, у зведених таблиці.

4. В четвертому розділі, у підрозділі опису процедури формування набору супутникових зображень високої роздільної здатності недостатньо висвітлено процес завантаження зображень високої роздільної здатності.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, яка є актуальною, має високу наукову цінність та практичну значущість.

### **ВИСНОВОК**

Дисертаційна робота Яловеги Владислава Анатолійовича «Методи обробки мультиспектральних зображень в комп'ютеризованій системі на основі нейронних мереж глибокого навчання» за своїм змістом відповідає спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, розв'язує поставлену науково-технічну задачу, яка полягає в підвищенні якості класифікації мультиспектральних супутникових зображень при проведенні дистанційного зондування на основі згорткових нейронних мереж у комп'ютеризованій системі.



Подана дисертаційна робота Яловеги Владислава Анатолійовича «Методи обробки мультиспектральних зображень в комп'ютеризованій системі на основі нейронних мереж глибокого навчання» відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44, а здобувач Яловега Владислав Анатолійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 – Комп'ютерна інженерія.

Опонент

доктор технічних наук, професор, професор  
кафедри комп'ютерних систем, мереж і  
кібербезпеки Національного аерокосмічного  
університету ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

10.04.2024 р.

Герман ФЕСЕНКО

Підпис доктора технічних наук, професора,  
професора кафедри комп'ютерних систем,  
мереж і кібербезпеки

ФЕСЕНКА Германа Вікторовича засвідчую:

учений секретар Національного аерокосмічного  
університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ»

10.04.2024 р.



Тетяна БОНДАРЄВА